



Atomkraftværkernes store stålkomponenter

Nielsen, A.

Publication date:
1975

Document Version
Publisher's PDF, also known as Version of record

[Link back to DTU Orbit](#)

Citation (APA):
Nielsen, A. (1975). *Atomkraftværkernes store stålkomponenter*. Risø National Laboratory. Risø-M No. 1766

General rights

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal

If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

Title and author(s) <u>ATOMKRAFTVÆRKERNES STORE STÅLKOMPONENTER</u> af Arved Nielsen	Date 17.12.1974
	Department or group Metallurgi
15 pages + tables + 4 illustrations	Group's own registration number(s)
Abstract <p>I meget brede træk gennemgås den nuværende situation vedrørende kontrol med stålkompone-nters sikkerhed.</p> <p>For at give et indtryk af hvordan stålkon-struktioner i almindelighed kan havarere gennem-gås nogle af de mest kendte havarier gennem de senere år, ligeledes nævnes de forholdsregler, man bruger for at undgå lignende tilfælde fremover. I den forbindelse er i et afsnit ståls spredbrud-problem berørt. Begrebet havarisandsynlighed beskrives i forbindelse med de store krav, der stilles til nukleare anlæg.</p> <p>Derefter gennemgås en række muligheder for at nedbringe havarisandsynligheden. Det forklares hvorfor overdimensionering ikke er nogen brugbar måde, men metoder til kontrol under fremstilling og under drift gennemgås. Herunder fremlægges brudmekanikkens grundlag på simpel måde for at belyse sammenhængen mellem defekt, belastning og stålets sejhed, idet denne sammenhæng er bestem-mende for havarisandsynligheden.</p> <p>Trykprøvningens betydning omtales. Til slut nævnes et par muligheder for at undgå at lade de nukleare reaktioner foregå i en ståltrykbeholder.</p>	Copies to

INDHOLDSFORTEGNELSE

Almindelige stålkonstruktioners havarier	Side 3
Ståls spredbrudproblem	- 7
Havarisandsynligheder	- 8
Dimensionering	- 10
Kontrol under fremstilling	- 11
Prøvning	- 12
Kontrol under drift	- 13
Hvorfor stålbeholder?	- 14

I letvandsreaktorernes omfattende stålkonstruktioner er trykbeholderen, som rummer reaktorkernen, målet for den største opmærksomhed både fra tilskuerne og akterne, alle fordrer sikkerhed mod havari, tilskuerne frygter den indespærrede radioaktivitet, akterne har yderligere den plage, at trykbeholderen er den komponent, der er vanskeligst at indpasse i byggeprogrammer og hvis svigten giver størst produktionstab.

Håndtering af store energimængder i lukkede beholdere, er ikke enestående for atomkraft. I dampkraftværker til fossilt brændsel som kul og olie kan man have overbeholdere af anselige dimensioner beregnet til højere tryk og temperatur end man normalt anvender i atomkraftreaktorer. Ligeledes bruger man til visse kemiske processer i f.eks. raffinaderier reaktionstanke af storedimensioner og til overordentlig høje tryk. Det er altså ikke noget sensationelt nyt at skulle konstruere trykbeholdere til atomkraftværker. Det nye ligger i de krav, man stiller til sikkerheden mod havari.

Almindelige stålkonstruktioners havarier.

Det hænder, at almindelige stålkonstruktioner havarerer under forudsete driftsbetingelser på grund af fejl i konstruktionen. I mange tilfælde er følgerne af havarier kun af økonomisk art, og man kan da regne ud, hvor meget det lønner sig at ofre for at øge sikkerheden. F.eks. biler bliver næppe samlet med al for stor hensyntagen til en lav havarisandsynlighed, og visse komponenters svigten kan dog have mere end økonomisk betydning.

Når store stålkonstruktioner havarerer under dramatiske omstændigheder, bliver de genstand for grundig analyse og diskuteres verden over af eksperter. De mest kendte eksempler på sådanne havarier gennem de senere år er:

Olielagertank, Skærbækværket, Danmark.

En kold morgen i februar 1959 blev en lille revne i nederste kant af en plade i nederste rang udgangspunkt for et spredt brud, der momentant delte lagertanken i to dele, der sank sammen uden om indholdet af tung brændselsolie, derefter sank dette sammen som en klæg masse, og en del skvulpede langsomt ud af tankgraven og beskadigede omliggende bygninger og

materiel. Revnen var opstået som følge af grov kolddeformation under klipping af pladekanten på stålverket, og situationen var forværret af varmeindvirkningen ved svejsningen af kantsemmen mellem bund og nederste rang. Der indførtes efter dette havari nye regler for svejsning af lagertanke og specielt om tilberedning af pladekanter, og lignende situationer kan ikke gentages når reglerne følges.

Kings Bridge, Melbourne, Australien.

I 1962 om formiddagen den 10. juli opdagede man, at et fag af den 1000 m lange, meget svære vejbro var sunket en fod, da et 47 tons tungt lastvognstog havde passeret broen. Der var sprædt brud gennem hver af de 4 pladejernudragere af 30 m længde, som bar faget. Bruddene var ret ensartede, to brud i hver drager forårsaget af ganske lange revner fra de to svejseømme mellem enderne af en lamel og flangen.

En prominent kommission blev til undersøgelse af havariet nedsat af Australiens premierminister. Broen var ønsket dimensioneret for højstyrkestål, stålverkerne havde været Lotuskeligheder ved at skulle levere stål til de givne specifikationer, og dele af broen var derefter blevet dimensioneret for blødt stål og svejsforskrifterne fastlagt derefter. Det lykkedes alligevel stålverket at fremstille stålet med høj flydegrænse. Broen blev dog ikke dimensioneret om eller svejsforskrifterne ændret. Højstyrkestål kan imidlertid ikke uden videre svejses som om det var blødt stål, og i de hårde overgangszoner opstod revner, som førte til konstruktionens havari.

I dette tilfælde er der altså tale om manglende omhu og kontrol og navnlig manglende kommunikation mellem parterne. Man kan drage den altning, at en omhyggelig og centralt styret kontrol er nødvendig, hvis lignende tilfælde skal kunne undgås.

Ammoniakkonverter, Wolverhampton, England.

En ammoniakkonverter er en stor trykbeholder til meget stort tryk. Denne beholder blev prøvebelastet efter fremstillingen i 1965. Den sprængtes inden det beregnede prøvetryk var nået. Bruddet var overvejende

spredt og udgik fra en eller to små revner i det store, smedede flange-stykke af lavlegeret stål tæt ved en svejseøm. Undersøgelser viste, at der omkring revnen var et område med stærkt forøget chromhold på grund af søjring, dette område havde ringe søjhed 0.; spredt brud kunne opstå.

Det er vanskeligt at undgå søjringer i store, smedede ommer; men revnerne burde i tide være konstateret ved omhyggelig prøvning, og for svært ville en mere omhyggelig varmebehandling efter svejsningen have bedret forholdene betydeligt. Nu skete sprængningen under prøvebelastningen med koldt vand og demonstrerede for så vidt prøvebelastningens berettigelse; under drift havde beholderen været varm, og spredt brud ville da neppe være opstået fra en lille revne.

Overbeholder, Cockenzie Power Station, Scotland.

En overbeholder i et kedelanlæg til fyring med olie eller kul er en stor trykbeholder, hvortil der fører en række dampere fra kedelrummet, dampen udskilles og samles i overbeholderen. Under en prøvebelastning med koldt vand efter montage i kedelanlægget sprængtes denne beholder 1966 ved et tryk, der var lidt lavere end det beregnede prøvetryk. Havariet skyldtes en 33cm lang og op til 9cm dyb revne i forbindelse med indvejsningen af en stor stude, så det var ikke underligt at beholderen sprængtes, men underligt derimod at en så stor defekt kunne passere ubemærket, og beholderen havde tålt en del forudgående trykprøvninger. Der skal ikke megen omhu til for med moderne udstyr at finde så store defekter, og det er let at se, hvordan lignende situationer kan undgås.

Eksplosionsbeholder, Japan.

Trykbeholdere af stål kan limes af svejs og endebunde, der er svejset i mange lag af 6 - 15mm tykke plader. Metoden er ikke særlig konstruktiv og kan give en enorm modstand med spredt brudforplantning i flerlagssektionerne. Hvis man samtidig vil udnytte den gunstige spændingsfordeling mellem lagene, der kan opnås ved en hensigtsmæssig svejsfor-gangsplan, kan man ikke undgå konstruktionens efter svejsning, men så derfor sikre sig, at de store svejseømme mellem sektionerne er tilstrækkeligt høje og fejlfrie eller eventuelt forstærkede, således at de kan fun-

gere uden afspændingsledning. Dette var åbenbart ikke tilgodeset i den japanske beholder, for under trykprøvningen sprængtes den med brud fra defekter i en ringsøm.

Dette havaritilfælde er ikke særlig godt oplyst, hvilket er beklageligt, for flerlagsmetoder er meget lovende; de bruges ofte til trykbeholdere til meget store tryk indenfor kemisk industri, og sprængningsforsøg har vist at det vil være muligt at udføre dem med overordentlig stor sikkerhed mod spredt brudforplantning.

Højtrykgaskeler, Typpi Oy, Finland.

I 1970 sprængtes en stor gaskeler under drift ved lav temperatur, idet en endebund sprængtes fra resten af trykbeholderen af et rundt-glende, spredt brud. Havarisituationen var sæt indviklet og omfattende at beskrive, idet 4 gaskelere placeret tæt ved hinanden var indblandet; men hovedårsagen til havariet anses at være en lille revne (3 x 12mm) tæt ved en svejsøm mellem en rørendeplade og en smedet endebund. Når en så lille revne kunne forårsage brud skyldtes det, at stålets søjhed langt fra var tilfredsstillende fordi varmebehandlingen efter svejsningen havde været forkert udført og kontrollen med stålets egenskaber i øvrigt uhensigtsmæssig. Der er altså tale om manglende omhu under fremstillingen.

I intet af de her nævnte tilfælde er der rapporteret tab af menneskeliv. De sidste 4 tilfælde drejer sig om trykbeholdere; de 3 sprængtes under trykprøvningen og kun i det sidste tilfælde skete havariet under drift. Et havari under drift er naturligvis mere risikofyldt end når det sker under afprøvning, idet man da kan træffe forholdsregler for at afbøde virkningerne.

De ovennævnte også prominente havaritilfælde er naturligvis ikke de eneste, der er sket siden 1959; der sker andre havarier, hvis konsekvenser vækker mindre opsigt, men som analyseres og rapporteres med stor grundighed. På den måde samles et enormt erfaringsmateriale om stålkonstruktioner indenfor funktionsområdet, hvor en vis havarisandsynlighed accepteres, og dette materiale udnyttes, når man for enhver pris vil nedbringe en stålkonstruktions havarisandsynlighed.

Spredte brud har været omtalt i det foregående, og det er nok

hensigtsmæssigt at bringe et par bemærkninger om dette problem.

Ståls spredbrudproblem.

Det er en beklagelig egenskab ved stål, at det under visse omstændigheder kan gå i stykker med spredt brud på trods af, at stål almindeligvis betragtes som et meget sejt materiale.

Spredbrudtilbøjeligheden øges ved lav temperatur, ved kærnvirkning og ved slagagtig belastning, heraf har de to første omstændigheder, lav temperatur og kærnvirkning, størst praktisk betydning. Kærnvirkning har som f.eks. ved revner eller andre defekter i forbindelse med svejsninger.

Spredte brud er frygtede, fordi de opstår ved uventet lav belastning og forløber med meget stor udbredelseshastighed uden energiforbrug, derfor stopper de ikke let af sig selv, men kan gennembyrde en konstruktion totalt. Seje brud er naturligvis også ødelæggende, men kan under heldige omstændigheder brude sig gradvis og forårsage deformationer af stålkonstruktionen eller ustabilitet, der opdages i tide til at der kan træffes forholdsregler til at begrænse virkningerne af bruddet.

Andre materialer kan være ubetinget sprøde f.eks. beton, de bruges så på en sådan måde i konstruktioner, at der er taget hensyn til deres sprøhed. Stål derimod bruges i konstruktioner under udnyttelse af dets sejhed, derfor kan en spredbrudtilbøjelighed være et problem.

For atomreaktortrykbeholdere af stål er spredbrudproblemet knapt så afgørende, det har to årsager:

Den ene årsag er den meget positive, at trykbeholderen ligesom en almindelig dampkedel arbejder ved så høj temperatur (op mod 300°C), at sprøde brud ikke kan finde sted, blot stålet er af nogenlunde rimelig kvalitet. Her til skal dog bemærkes, at trykbeholderen i reaktorens levetid er udsat for en neutronbestraling, der gradvis ødelægger stålets sejhed og øger spredbrudtilbøjeligheden, denne effekt er meget betydelig i en del ældre reaktorkonstruktioner, som i kraft af forskning på omstøpnings og efterbehandling af konstruktionerne i visse dele, som skal stilles til stål for at begrænse faren for neutronbestraling. Man må nok betragte sprøde brud som en sikkerhedsrisiko i ældre reaktorkonstruktioner, der herefter fremstilles på forsvarlig måde. I øvrigt har man altid inden

i sådanne trykbeholdere anbragt monitorings prøvestykker af det pågældende stål, de tages ud stykke for stykke gennem reaktorens levetid og prøves, således kan man følge stålets egenskaber i trykbeholderens

Den anden årsag er den negative, at havarisituationen vil stort set være den samme, uanset om et brud er spredt eller søjt. Når man har en trykbeholder, der indeholder overhødet vand, damp eller anden gasart, vil belastningen på beholderveggen være så elastisk, at et brud, der breder sig, ikke medfører ret meget spændingsudligning, derfor vil selv et søjt brud ikke let standse før trykbeholderen er splittet ad. Selv om havarisituationen således ender på noget nær samme måde, er dog den betydende forskel på spred og søjt brudsbrudsløse, at spredt brud i visse tilfælde kan opstå ved væsentlig lavere spændinger end søjt brud, derfor skal betingelser for spredt brud under alle omstændigheder undgås. Til det formål beregner man for driftsindringer sammenhørende værdier af spændinger og temperaturer i trykbeholderen. Tre situationer kan her tages i betragtning:

Opstart og nedlukning foregår efter et sådant skema, at væsentlige spændinger kun er til stede, når stålkonstruktionernes temperatur er over det temperaturområde, hvori spredbrudtilføjeligheden er til stede.

Kødkøling foregår således, at der ikke skyldes holdt vand over beholderveggen, mens den er under tryk. Brat afkøling vil i sig selv medføre termiske spændinger, hvis disse lægges til spændinger fra et tryk i beholderen, når denne er kølet til lav temperatur, kan en spredbrudsituation ikke undvikkes.

Endelig har man det generelle sikringsystem med fejlbetjening til at hindre helt ubørlige situationer, som f.eks. at en fødepumpe går i gang med at pumpe en nedlukket reaktortrykbeholder op med holdt vand til sprængning.

De overfor nævnte spredbrudssituationer forekommer måske helt urealistiske, men det er heller ikke nogen stor ulighed at huske på, at de ikke kan opstå. Herudover vil det være rimeligt at gå på frem, at ståls spredbrudsproblem ikke vil have sikkerhedsmæssig betydelighed for de ståltyper og konstruktions- og driftbetingelser, der bruges i anlægsanlæg.

Havarisandsynligheder

Den omfattende analyse, der foretages i havaritilfælde har som

omtalt til formål at tilvejebringe viden, der kan danne grundlag for udarbejdelse af forholdsregler til at imødegå lignende tilfælde i fremtiden. Man accepterer for almindelige stålkonstruktioner visse lave havarisandsynligheder, og når havarierne indtræffer, udvider man sit erfaringsgrundlag, således at fremtidige havarisandsynligheder kan nedbringes til acceptable niveauer.

Et acceptabelt niveau er naturligvis afhængigt af stålkonstruktionens art og størrelse og navnlig konsekvenserne af et havari. Når talen er om atomreaktortrykbeholdere, er havarikonsekvenserne indlertid af en sådan art, at havarisandsynligheden skal sættes overordentligt lavt; man vil ikke acceptere bare en sprængning af en sådan trykbeholder, derfor kan man heller ikke få noget erfaringsgrundlag på denne vej.

En tilnærmelse til at skaffe et erfaringsgrundlag af samme art som ovenfor omtalte er, at bygge trykbeholdere i mindre skala til sprængningsforsøg. Enhver trykbeholder kan sprænges ved at blive bragt på et tilstrækkeligt højt indre tryk. Hvis beholderen er defekt materialsænsigt, konstruktivt eller på grund af udførelsen, kan sprængningstrykket indlertid være uforudset lavt. Trykprøving til sprængning foretages verden over af trykbeholdere fremstillet med defekter i eksperimentelt øjemed for at gøre vor viden om brudprocesser, så havarisandsynligheden kan holdes under kontrol i aktuelle stålkonstruktioner.

De overordentlig lave havarisandsynligheder, der forlanges i forbindelse med atomkraftstationer skyldes fortrinvis frykten for en total frigørelse af radioaktivt materiale i forbindelse med et trykbeholderhavari, dette ville have meget alvorlige konsekvenser, men disse er ingenlunde uberegnelige. I den forbindelse kan det nævnes, at man accepterer andre menneskeskabte katastrofemuligheder med meget alvorlige konsekvenser, f.eks. vedhede det kan begrunnet opmærksomhed i verdenspressen, at et jumbopjælle styrtede ned i nærheden af Paris, og 348 mennesker dræbtes, fordi en betjening ikke læste instruktionen på en begælsen om korrekt betjening af den. Med et mere alvorligt nedstyrtningsskæbde ville antallet af døde have været betydeligt højere, men jo mere stigende dødelighed i den daglige trafik som man bemærker på. Et reaktorhavari skal være overordentlig uventet, hvis dødsfaldene skal være sammenlignelige med de ovenfor nævnte, men de menneskeskabte katastrofer i forbindelse af et reaktorhavari.

torhæveri anses for særdeles alvorlige.

Selv en overordentlig lav havarisandsynlighed kan udtrykkes med tal, og de sandsynligheder man taler om i forbindelse med atomreaktor-trykbøholdere er omkring 10^{-6} pr. år, dermed menes, at for hver enkelt trykbøholder er sandsynligheden for hæveri i løbet af et år så lav som 10^{-6} , eller hvis man havde 1.000.000 sådanne bøholdere i drift i et år, måtte højst én havare.

Lad os se på, hvordan disse lave havarisandsynligheder søges opnået under dimensionering, kontrol under fremstilling, prøvning samt kontrol under drift.

Dimensionering.

Det er værd at bemærke, at man ikke kan klare sig ved simpel overdimensionering. Bestemmelse af dimensionerne af en trykbøholder, der skal være funktionsdygtig under givne driftforhold, er noget man har et valdigt erfaringsgrundlag for, formler og bestemmelser er nedlagt i normer, som man skal følge. Problemerne opstår altid i forbindelse med fabrikationen, hvorunder der opstår defekter, som kan vokse og forårsage hæveri senere som følge af driftbelastningerne. Jo større dimensioner, desto større bliver fabrikationsproblemerne. Ståls egenskaber er i øvrigt vanskeliggere at holde stabilt på et højt niveau, når det skal valses i store tykkelser. Et værksted, hvori man med stor succes kan svejse konstruktioner i 12mm plade af blødt stål ville givet komme til kort, hvis man skulle svejse 80 mm plade i lavt leveret stål, og man fortsatte med at bruge samme metoder og kontrolniveau.

Med hensyn til dimensioneringsnormerne nedbringer man isidletid havarisandsynlighederne ved en skarpere kontrol med, et dimensioneringen er fejlfrit udført. Man forlanger spændingsberegningerne udført stadig mere detaljeret og flere og mere realistiske spændingstilfælde taget i betragtning (kombinationer af termiske og mekaniske spændinger, bøjning for krybning og udmatningsbelastning). Dette er så meget sagt rimeligt et forlange i vore dage, da man har computers, hvori spændings- og deformationsberegninger af meget stort omfang kan udføres hurtigt og billigt. Ligeledes giver den moderne udvikling af elementanalytiske metoder anledning til en god tilnærmselse til realistiske forhold.

Kontrol under fremstilling.

Normer for trykbøholdere til reaktorer indeholder meget andet end dimensioneringsregler. De indeholder i vid udstrækning krav om kontrol, dels af materialer, dels fremstillingsprocesser og dels af de færdige konstruktionsdele. Denne kontrol er naturligvis mere omfattende og skarpere for atomreaktorbøholdere end for andre trykbøholdere med henblik på at opnå den ønskede lave havarisandsynlighed. Derudover er helt nye synspunkter kommet frem, idet man anvender moderne brudmekaniske teorier til beregning af hvilken størrelse og art af defekter, der kan eksistere forholdsvis steder i en trykbøholder uden at forårsage hæveri under givne driftbetingelser.

Brudmekanikkens grundlæggende filosofi er følgende:

Man har i en belastet stålkonstruktion et stælelement, som indeholder en defekt f.eks. en revne af længden: a . Leder man belastningen vokse, vil der i stælelementet til sidst opstå brud udgående fra revnen; man har altså overskredet den kritiske spænding for den pågældende revnelængde. Den kritiske spænding for en given revnelængde afhænger naturligvis ikke kun af revnelængden, men også af materialets egenskaber, nemlig stælets brudstyrke. I en praktisk stålkonstruktion er isidletid driftbetingelserne på forhånd givne, og når dimensionering er foretaget, er også spændingerne i konstruktionens dele givet; den brudmekaniske analyse går derefter ud på beregning af kritiske revnelængder: a_c , ud fra materialets tilte brudstyrke, spænding, kritisk revnelængde og brudstyrke er altså konstruktionens størrelser, der indgår i beregningen af stålkonstruktionens defektstabilitet. Sammenlængen mellem disse tre komplementære størrelser udtrykkes ved komplicerede matematiske formler til brug for beregninger, som den kan også vises simpelt som fig. 2.

Spørgsmålet for kontrol af stålkonstruktioner bygger i stigende grad på brudmekaniske beregninger. For atomreaktortrykbøholdere kræves omfattende kontrol af anvendte stælmaterialers brudstyrke ved hjælp af specielle brudmekaniske prøvningstekniker. Desuden kræves en altomfattende kontrol af konstruktionens samlede størrelser, som den kan også vises simpelt som fig. 2.

for at sikre at større defekter ikke er til stede, og at mulige defekters størrelse i alt fald er uden betydning i sammenligning med beregnede kritiske revnelængder.

Til kontrol af stålkonstruktioner for defekter er ultralyd-prøvning i de senere år blevet udviklet til en meget følsom metode, der kan give meget pålidelige oplysninger om defekter, der er små i sammenligning med de kritiske revnelængder, som oftest beregnes. Ultralyd-prøvning går ud på at sende korte lydimpulser med høj frekvens (2 - 12 MHz) ind i stålmaterialer, impulserne reflekteres af defekter og kan opfanges igen, og defekternes placering, art og størrelse kan med tilnærmelse bestemmes.

Det kan her indskydes, at normer oftest er et nationalt anliggende, og trykbeholdere bygget efter forskellige landes normer bliver forskellige; man kan ikke umiddelbart vurdere hvilke normer, der giver lavest havarisandsynlighed. I de senere år har man ofte ved revision af normer tilladt mindre materialetykkelse og krævet mere kontrol, det betyder, at man arbejder med mindre sikkerhed mod plastisk deformation, men med større sikkerhed mod havari på grund af defekter. Men den endelige havarisandsynlighed kan man ikke beregne på grundlag af normernes krav. For øvrigt er amerikanske normer naturligvis tæsnere for atomkraft-anlæg i den vestlige verden grundet på det store erfaringsgrundlag, der er opbygget i USA på atomkraftområdet.

Prøvning.

Hermed tænkes fortrinsvis på trykprøvning af de færdige trykbeholdere. Den kendsgerning, at af de tidligere nævnte fire havaritilfælde omfattede trykbeholdere, forekom de tre under trykprøvningen, antyder at trykprøvning nødvendigvis må foretages for at etablere tilstrækkelig tilid til konstruktionens funktionsduelighed. Det kan diskuteres, om trykprøvning kan have en skadelig indflydelse på trykbeholderen, og det kan anses for beklageligt, at trykprøvning af praktiske grunde må foretages ved en temperatur under 100° C, når de høje tryk under drift optræder ved højere temperaturer, hvor spredbrudtilfældighed ikke er til stede. I alt fald to af ovennævnte tre havaritilfælde ville måske være undgået under drift på grund af stålets højere brudsejhed ved højere temperatur. Det er

dog ikke tænkeligt at trykprøvning afskaffes eller erstattes af bedre metoder i de første mange år.

Man kan også udbyttet af en trykprøvning enormt ved at foretage den under akustisk overvågning. Når stål belastes, vil der ofte udsendes akustiske signaler, især fra steder hvor der findes spændingskoncentrationer og især ved den første belastning af stålelementet.

Akustisk emission er et fænomen, der minder om det kendte tilmelding, der omfatter hørbare frekvenser, i stål derimod opstår akustiske signaler med meget høj frekvens, og signalerne opfanges af følere anbragt på stålelementets overflade, følerne har gerne deres største følsomhed ved 100 kHz eller højere frekvenser. Med en kompliceret elektronisk teknik kan man udpege de steder i en stålkonstruktion, hvorfra den akustiske emission kommer. Sådanne steder vil man have mistanke til, og det vil hyppigt vise sig ved ultralyd-prøvning, at der er defekter de pågældende steder. Den akustiske overvågning omfatter normalt hele stålkonstruktionen på en gang og betyder som supplement til den øvrige ikke-destruktive prøvning en væsentlig forbedring af en trykbeholderes sikkerhed.

Den akustiske emissions teknik er ny, men man anvender i stigende grad akustisk overvågning under trykprøvning af trykbeholdere til atomkraftreaktorer og trykbeholdere til andre formål inden for kemisk eller petrokemisk industri.

Kontrol under drift.

Det forudsættes altid, at der foretages periodisk inspektion af samme art, som den der blev foretaget under fremstillingen af trykbeholderen. Inspektionen kan være normeret eller på anden måde være foreskrevet af myndigheder; for atomreaktorer vil man foreskrive hyppig inspektion, og der kræves normalt i normerne, at anlægget er udformet således, at de kritiske områder er tilgængelige for inspektion. Der kan naturligvis mange steder være så højt et strålingsniveau, at mennesker ikke kan foretage inspektion direkte, men man har f.eks. i Sverige udviklet apparatur, som selv kan vandre rundt i en trykbeholder og automatisk foretage ultralyd-prøvning, røntgenfotografiering, mikroskopering eller ved hjælp af lydledere tillade visuel inspektion fra en strålingsbeskyttet position.

Periodisk inspektion er imidlertid besværlig og kostbar på grund af driftsstandningerne, og det er principielt bedre og sikrere at foretage kontinuerlig overvågning. Dertil forsøger man at udvikle den akustiske emissions teknik; problemerne i den forbindelse er især knyttet til de høje mekaniske og elektriske støjniveauer, der findes i et atomreaktoranlæg under drift. Når problemerne er løst vil man formodentlig kontinuerligt kunne kontrollere spændingskoncentrationerne opståen på grund af revnevækst ved udmættelse, krybning, korrosion eller spændings reliefringer på grund af plastisk deformation.

Derudover overvåger man vibrationers frekvensspektrum kontinuerligt under reaktordrift for at konstatere ændringer i operationsforhold eller egenskaber. Denne tilnærmelse er kendt under betegnelsen mekanisk signaturanalyse f.eks. fra indflyvning af flytyper. Man anbringer accelerometre og sædvanligvis mange kritiske steder og indespiller de elektriske signaler på magnetbånd under forskellige operationer. Analyse af magnetbåndene fra gentagne standardoperationer med flyet kan derefter give oplysninger om fremadskridende forringelse af komponenter.

Hvorfor stålbeholder?

Det ville være nærliggende at slutte med at spørge: Hvis man er ked af en ståltrykbeholder, kan man så ikke lave den af noget andet eller helt undgå den? Begge dele kan gøres.

Trykbeholderen kan fremstilles i forspændt beton, dette indebærer konstruktionsmæssigt betydelige fordele: Efter gældende normer og regler tåler den ofte større overbelastning uden totalt sammenbrud. Der går meget stål til forspænding, men det er billige kvaliteter. Trykbeholderen opføres i takt med anlæggets bygning iøvrigt og forsinkelser skulle kunne behærges. Der kræves mindre kvalificeret arbejdskraft. Beholderen skal ikke transporteres.

Der er flere fordele end de ovenfor nævnte, men der er også problemer med forspændte betonbeholdere: For at være tæt skal betonbeholderen indvendig have en stålbelægning, og denne skal stykkesmæssigt kunne samarbejde med betonbeholderen, der samtidig skal køles, fordi beton ikke tåler den temperatur, der hersker inde i beholderen. Skåler skal kunne tilsluttes den forspændte betonbeholder.

Sikkerhedsmæssigt synes der at være visse fordele ved den forspændte betonbeholder; men om den endelige havarisandsynlighed er så lille som man ønsker den er endnu vanskeligere at vurdere end for ståltrykbeholderen, da konstruktionens art er ny og endnu kun i ringe omfang prøvet som trykbeholder.

Man kan erstatte trykbeholderen af en rørkonstruktion, som det er gjort i den canadiske reaktortype CANDU. Man regner ganske vist traditionelt med større havarisandsynlighed i rørsystemer end i en trykbeholder, og CANDU — reaktorens rørsystemer er tilmed fremstillet af helt nye materialer: zirkonialegeringer. Men konsekvenserne af et rørbrud er sikkerhedsmæssigt mindre alvorlige end af et brud på en trykbeholder i et atomkraftanlæg. Denne påstand forudsætter dog, at rørene i en brudsituation fungerer uafhængigt af hinanden.

Både den forspændte betonbeholder og rørkonstruktionen er meget lovende, men en sammenligning med den klassiske udformning af ståltrykbeholderen, er uhyre kompliceret, og disse få bemærkninger giver langt fra grundlag for noget valg, men antyder at ståltrykbeholderen ikke er nogen absolut forudsætning for atomenergiproduktionen.

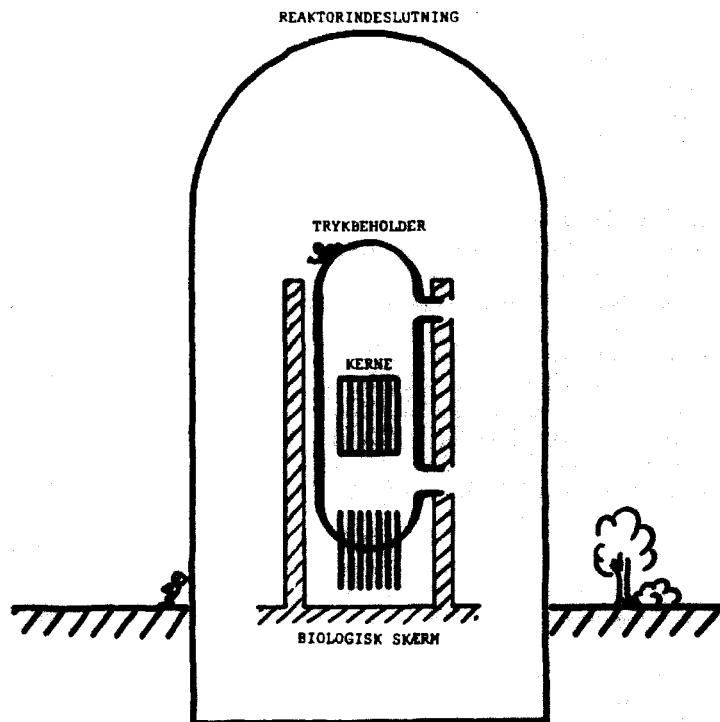


Fig. 1. Atomkraftens indespærring.

Af skitsen ses, hvordan man pakker atomkraften ind. Det er kun en principskitse; den passer bedst med en vandreaktor af den art, som hyppigst anvendes i vore nabolande i atomkraftanlæg. Men mange andre reaktortyper har en kerne, hvori energi produceres ved høj temperatur og højt tryk, og kernen er omgivet af en trykbeholder af stål eller i visse tilfælde af forspændt beton. Uden om trykbeholderen kan man have en biologisk afskærmning, som er en tykvægget betonkonstruktion, der tjener til at beskytte personalet og omverdenen mod den radioaktive stråling fra kernen. Den biologiske afskærmning kan i særlige tilfælde udføres således, at den begrænser virkningen af et havari af stältanken. Uden om alt dette kan man have et ydre containment, d.v.s. en reaktorindeslutning, som er tæt og muligvis kan tåle et vist tryk og har til formål at indespærre radioaktivt materiale, hvis sådant ved et uheld eller havari skulle undslippe trykbeholderen. Det vil nok stå enhver klart, at der er store kræfter på spil i en atomkraftreaktor, og når man har lukket disse kræfter inde i en trykbeholder, så er det en alvorlig sag at sikre sig, at de ikke slipper ud på anden måde end i form af en stilfærdig energiproduktion.

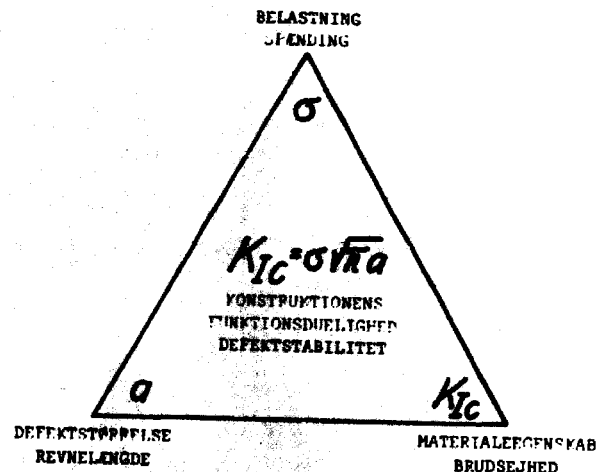


Fig. 2.

Symbol på sammenhæng mellem nogle af brudmekanikkens begreber og realiteter.

Formlen midt i trekanten er den allersimpleste sammenhæng mellem brudsejhed, spænding og revnelængde; den gælder for et ideelt tilfælde. For praktiske stålkonstruktioner er formlerne langt mere komplicerede.

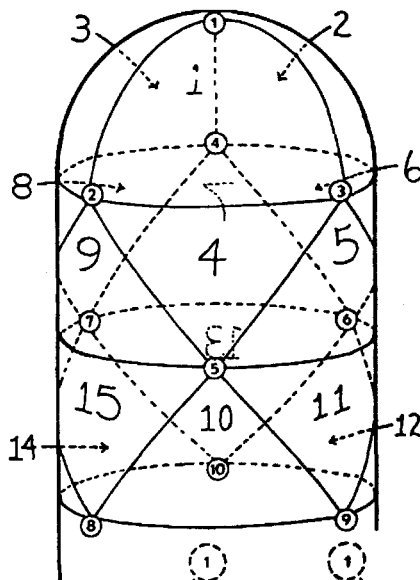
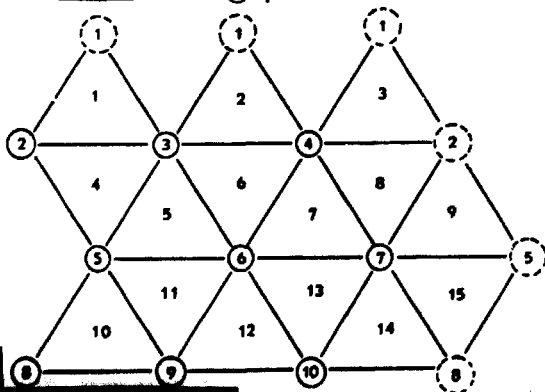


Fig. 3.
Akustisk Emission

H. Dunegan's lokaliseringsystem:
Model 1010. 10 følere anbringes i det viste mønster på en trykbeholders svøt og ene endebund.

På udfoldningstegningen ses følerens placering afbildet i et ensartet net.

Endelig ses på en oscillografiskærm lokaliserings af kilder til akustisk emission markeret med lyspletter; på samme måde er følerens placering markeret.



SYNTH
PROBABILITY MAP

1 SURPOINTS PER GRID-GRID SIZE = Pressure Range
MAXIMUM COUNTS = 110-122 kilograms/cm²

0112444311344454543454434443344
1123444432344455443555434443344
2134444433444466434466554442344
32342244434444463344445544432342
43412144443444444554444422342
5421213443444544344454644421333
64311212444434444433445564411134
7411112444433344553334446420124
83111123444444321234445411234
93210011244444545321234444423344
0221001122444443112245333334452
21110120134444222133333333461
310030122444532122233333433443
44012444435442111222222344332
5303233544333422233224532432
6121113444432243321243444433443
73321243434234430024553223444
843211222243432221334431001434
94422110124533212211344312043
043322212443221243212345333444
143431344443221233134443432344
23112223444312132123434444444
333344433564310013223444434444
44424344444223322113332125744
5121110124444234444201123222234
6131100044223323443121243112233
73210001124311322312213542123112
811211032332124322232433322123
9322110134022234434322433334433
0212101343112434444300442144444
1222100343243341243334432232444
22121102443432212443343234322
322212113443434313443444233211
4101121125333564434533454331101
510101114444444444444444422111
6111010245446566545642443111111
7321102344430056655632344011121
821102344435558746542343011121
92112223444424566767522332112132
0211032444423677876412343112322
122323344544236777642233212232
224223445442366854533331122222
32333244543236666443321121232
424332445433345676443321113331
51333244534344566443221113332
613224454434445734443211013432
743432345443444554443211013442
83432344444344465444211013342
9277 (DATA)XDCR=FRNT=PLDT=CHL=MTCH

Fig. 4.

Akustisk Emission.

Dwight Parry foretager akustisk overvågning med et system, hvori der fra en computer udteges en udfoldning af trykbeholderen med cifre, der angiver sandsynligheden for, at der er en kilde til akustisk emission det pågældende sted.

COMPUTER PROBABILITY
MAP OF A PRESSURE
VESSEL